Aus dem Stoffwechsellaboratorium des Urban - Krankenhauses Berlin
(Prof. Dr. Bansi)

Über die Ausscheidungsgeschwindigkeit des Acetylens beim ruhenden und arbeitenden Menschen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der
Medizinischen Doktorwürde
an der
Friedrich Wilhelms - Universität
zu Berlin

vorgelegt von
RITA SCHERK
aus Berlin

17. 11. 1936.

Berlin, Buchdruckerei R. Scherk

559

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. Siebeck

Referent: Prof. Dr. Bansi

Korreferent: Prof. Dr. v. Bergmann

Die Leistung des Herzens wird in erster Linie durch die in der Minute beförderte Blutmenge beschrieben. Es ist daher verständlich, daß man zur Bestimmung des zirkulatorischen Minuten-Volumens nach einer klinisch leicht durchführbaren Methode suchte. Das Minuten-Volumen kann zwar im weitesten Sinne als Funktion des respiratorischen Gaswechsels angesehen werden, doch erhält man hierdurch keine absoluten Werte. Die Messung des Minuten-Volumens wurde zuerst nach dem „Fickschen Prinzip" vorgenommen, wobei man die Lunge als Tonometer benutzte. Von Lindhard wurde dann die Fremdgas-Methode eingeführt. Lindhard verwandte Stickoxydul, da es ohne chemische Bindungen vom Blute aufgenommen wird und bei 37° Celsius den sehr hohen Absorptionskoeffizienten von 0,43 hat. Vom Lungengewebe wird Stickoxydul noch mehr absorbiert als vom Blute. Grollman gebührt das Verdienst, Acetylen eingeführt zu haben, das einen noch günstigeren Verteilungskoeffizienten als Stickoxydul hat und sich vor allem leichter und genauer analysieren läßt. Außerdem ist die Fehlergrenze der mit Stickoxydul ausgeführten Bestimmungen des Minuten-Volumens bedeutend größer als die der mit Acetylen ausgeführten. Nach Christensen sind die Anforderungen, die an eine Versuchsperson bei Minuten-Volumen-Bestimmungen mit Hilfe von Acetylen gestellt werden, außerordentlich gering; es ist „die bestgeeignete existierende Methode zur Bestimmung des Kreislaufs beim Menschen in der Ruhe und während der Arbeit".

Eine Wiederholung einer Minuten-Volumen-Bestimmung kann erst vorgenommen werden, wenn das gesamte Acetylen durch die Atmung wieder ausgeschieden ist. Es ist zwar von vornherein anzunehmen, daß die Geschwindigkeit der Ausscheidung von der Größe des Minuten-Volumens bezw. des Sauerstoffverbrauches, der Atmung, der Zeit und Menge der Acetylen-Einwirkung abhängt. Es ergibt sich nun die Frage, wie lange es dauert, bis kein Acetylen mehr in der Atemluft vorhanden ist, wann also und in welchem Abstand eine abermalige Acetylen-Atmung vorgenommen werden kann. Im folgenden wird der Versuch unternommen, die Dauer der Ausscheidung des Acetylens aus der Atemluft unter verschiedenen, genau festgestellten Bedingungen zu ermitteln.

Es liegen bereits viele Untersuchungen über die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Acetylens vor. Die Giftigkeit des Acetylens wurde an Kaninchen untersucht. Bei spektroskopischer Untersuchung des

Blutes vergifteter Tiere zeigten sich keine Veränderungen, im Gegensatz zu mit Leuchtgas vergifteten Tieren. Das durch die Lunge aufgenommene, im Blut kreisende Acetylen dürfte besonders auf das Zentralnervensystem wirken. Diese Wirkung äußert sich zuerst in Schläfrigkeit; nach längerer Einatmung tritt Benommenheit ein. Die Versuchstiere waren zeitweise unruhig, die Atmung war bisweilen oberflächlich und schnappend. Die Veränderung der Atembewegungen ist wahrscheinlich zerebral bedingt. Die Reflex-Erregbarkeit wird gesteigert. Die Wirkung des Acetylens auf den Organismus wurde schon von verschiedenen Seiten untersucht. Acetylen läßt anoxybiotische Prozesse unbeeinflußt, dagegen bewirkt es eine Veränderung aller oxydativen Vorgänge. Es ist daher (nach W i e l a n d) streng von den lipoidlöslichen Narkotika (Chloroform, Äther und Chloräthyl) zu trennen; es steht auf einer Stufe mit dem Stickoxydul. Die lipoidlöslichen Narkotika beeinflussen die anaerobe und die aerobe Tätigkeit einer jeden Zelle.

Während der Acetylen-Narkose steigt der Blutdruck und sinkt die Körpertemperatur. Der Stoffwechsel ist herabgesetzt. Charakteristisch für die Acetylen-Betäubung am Menschen ist das schnelle Eintreten der Bewußtlosigkeit und das schnelle Erwachen, sobald das Gas entfernt wird. Die oxydativen Vorgänge sind während der Narkose stark eingeschränkt, der Zustand ähnelt dem „Winterschlaf". Die Aufnahmefähigkeit des Blutes für Sauerstoff wird in keiner Weise zum Nachteil verändert. Die Ausscheidung des Gases ist bedeutend schneller als die Aufnahme. Der Kohlensäuregehalt des Blutes sinkt unter Acetylen-Einwirkung unter die Norm. Die Alkalireserve des Blutes wird verringert, während der Blutzuckergehalt steigt. Man gibt zweckmäßigerweise bei Beginn der Narkose hohe Konzentrationen des Gases (60 bis 70%), um nach Eintritt der tiefen Betäubung auf 40 bis 50% herunterzugehen. Das menschliche Blut nimmt im Durchschnitt 98,8% der eingeatmeten Acetylenmenge auf.

Acetylen ist wesentlich ungefährlicher als Chloroform und Äther. Die Narkosebreite ist bei diesen Gasen bedeutend geringer als bei Acetylen. Die Patienten klagen nach Acetylen-Narkosen nicht wie nach Chloroform- und Äther-Narkosen über Übelkeit und Kopfschmerzen; der sogenannte „Narkose-Kater" ist so gut wie gar nicht vorhanden. Die Explosionsgefahr kann durch vorsichtige Hantierung vermieden werden. Nur bei Operationen am Kopf und in der Mundhöhle kann man die Acetylen-Narkose nicht verwenden, da nach Entfernung der Maske der Patient sofort aufwacht. Bei Laparotomien stört die nie zu beseitigende Bauchdeckenspannung.

Acetylen ist an das Blut nur physikalisch gebunden, das einzelne Hämoglobinmolekül wird nicht verändert. Die Blutkörperchen nehmen etwas mehr Acetylen auf als das Serum. Die Löslichkeit des Acetylens wird durch Hämoglobin und Salze vermindert. Die Sättigungskurve des Blutes verläuft sehr steil; nach 5 Min. sind 88%, nach 10 Min. 96% der theoretisch maximalmöglichen Mengen im Blute nachweisbar. Die Löslichkeit von Acetylen im

Wasser ist: 0,747; im menschlichen Blut: 0,740 (nach Grollman), also fast gleich. Die Lipoidlöslichkeit des Acetylens ist so gering, daß man sie gar nicht zu berücksichtigen braucht.

Die Ausscheidungsgeschwindigkeit des Acetylens aus dem Blute wurde von Schoen und Sliwka bereits untersucht. Hier wird, wie schon oben erwähnt, die Ausscheidungsgeschwindigkeit aus der Atemluft untersucht.

Bei der Vorbereitung der Versuche wurde zuerst Acetylen, Sauerstoff und Außenluft in einem Spirometer gemischt. Die genauen Mischverhältnisse sind dem Bericht über jeden einzelnen Versuch beigefügt. Von diesem Gasgemisch wurden 2,4 Liter, bei Arbeitsversuchen bis zu 2,8 Liter in einen Gummisack gefüllt, so daß jedes Mal 0,56 bis 0,65 ccm Acetylen geatmet wurden. Diese Menge entspricht der von Grollman vorgeschlagenen, zur Minuten-Volumen-Bestimmung verwendeten Acetylenmenge. Der Gummisack stand an seinem oberen Ende mit einem Dreiwegehahn in Verbindung, der so gestellt werden kann, daß entweder eine Verbindung zwischen Mundstück und Gummisack oder zwischen Mundstück und Außenluft vorhanden ist. Bei den meisten Versuchen wurde ein Schlauch an der Außenluftverbindung befestigt, um in einem Douglassack eine Minute lang die Ausatmungsluft zu sammeln, somit die Höhe des jeweiligen Sauerstoffverbrauches festzustellen. Am Mundstück waren an jeder Seite je zwei luftleere Büretten befestigt worden, in denen im Abstand weniger Sekunden Alveolarluftproben aufgefangen werden konnten.

Um die Ausscheidung unter verschiedenen Verhältnissen, also vor allem bei verschiedener Höhe der Kreislaufgeschwindigkeit zu messen, wurden Ruhe- und Arbeitsversuche ausgeführt. Ein Ruheversuch geht entsprechend den Vorschriften zur Bestimmung des Minuten-Volumens (Grollman und Kroetz) folgendermaßen vor sich: Die Versuchsperson muß 10 Min. in Ruhe sitzen bezw. liegen, dann atmet sie 5 Min. zur Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs in den Douglassack und ruht sich wieder 1 Min. aus. — Die Atmung in den Douglassack wurde nicht bei allen Ruheversuchen durchgeführt. — Nach der Pause wurde das Mundstück wieder angesetzt und nach maximaler Expiration wurde während der darauffolgenden tiefen Inspiration der Dreiwegehahn zum Gummisack gestellt, so daß jetzt das Gasgemisch eingeatmet wurde. Die Dauer der Gasatmung wurde vorher bestimmt und betrug bei Ruheversuchen 30 Sekunden oder 1 Minute. Nach Ablauf der Zeit wurde der Hahn wieder auf Außenluft gestellt, und nun wurden in bestimmten Zeitabständen Alveolarluftproben in die Bürette gelassen. Alle Versuche wurden nach einer genau gehenden Stoppuhr ausgeführt. Abnahme der Alveolarluftproben: Die Versuchsperson atmet tief ein, die Abnahme selbst erfolgt während der Expiration. Die so gewonnenen Alveolarluftproben werden in einem Haldane-Apparat auf ihren CO_2- und C_2H_2-Gehalt untersucht. Auf die Bestimmung der Analysen braucht hier nicht näher eingegangen zu werden; die Acetylen-Analyse erfolgte nach Grollman mit Mercurichlorid.

Nun zu den Arbeitsversuchen: Die Versuchsperson fuhr auf einem Fahrradergometer (nach Lindhard). Um bei jedem Einzelversuch auf einen möglichst konstanten Sauerstoffverbrauch zu kommen, fährt die Versuchsperson erst 2 Min. und 30 Sek., bevor sie zur Bestimmung des O_2-Verbrauches eine Minute in einen Douglassack atmet. Darauf wird die Acetylen-Atmung durchgeführt, und zwar technisch in derselben Weise wie beim Ruheversuch beschrieben. Es wird entweder bei Beginn der C_2H_2-Atmung mit der Arbeit aufgehört („aufhören") oder bis zum Ende des Versuches weitergearbeitet („weiterfahren"). Der Sauerstoffverbrauch während der Arbeit wurde in der üblichen Weise durch Analyse des Douglassackes ermittelt.

Die Versuche wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten in Tabellen geordnet:

1. nach der Art ihrer Ausführung;
2. nach Versuchspersonen;
3. nach der Größe des O_2-Verbrauches und der Ventilation.

Die Versuche wurden vor allem nach 1. zusammengestellt und zwar folgendermaßen:

1. a) Versuche am ruhenden Menschen,
   b) Versuche am arbeitenden Menschen,
      aa) „aufhören" mit der Arbeit,
      bb) „weiterfahren".

Die Anordnung 2 (nach Versuchspersonen) wurde nur bei den Arbeitsversuchen angewandt, da sich hier Unterschiede zwischen trainierten und untrainierten Versuchspersonen ergaben. 3. wurde als sekundäres Einordnungsprinzip angewandt, um feststellen zu können, ob die Geschwindigkeit der Ausscheidung direkt von der Größe des Sauerstoffverbrauches abhängig ist. Es war nur bei den Ruheversuchen nötig, noch eine Einteilung nach der Dauer der Acetylen-Atmung vorzunehmen, da bei den Arbeitsversuchen regelmäßig nur 20 Sek. wegen der eintretenden Anoxämie und Narkose geatmet werden konnte. Zur Erklärung der Tabellen ist noch zu bemerken, daß die Sekundenzahl in der vorderen Reihe immer vom Abschluß der Acetylen-Atmung rechnet. Die Zahlen in der zweiten Reihe geben die Prozentzahl des Acetylens an. Da zu vermuten war, daß die jeweils gefundene Acetylen-Menge einer festen Potenz der seit Beendigung der Acetylenatmung verflossenen Zeit proportional ist, wurden die Werte auf doppeltem Logarithmenpapier eingetragen. Dies gäbe bei graphischer Darstellung auf doppeltem Logarithmenpapier eine Gerade, deren Steilheit durch die Potenz (a), deren Höhe durch den Proportionalitätsfaktor (c) festgelegt wird. c hängt von der gewählten Maßeinheit ab (1 Sek. und 1 ccm).

Es wäre nämlich:

$$x = c \cdot t^a$$

($x = C_2H_2$ Menge; t = abgelesene Zeit).

Logarithmiert man auf beiden Seiten, erhält man:

$$\lg x = a \cdot \lg t + \lg c$$

($\lg t = y$; $\lg x = z$).

Bei dem Auftragen auf doppeltem Logarithmen-Papier erhält man demnach:

$z = a \cdot y + \lg c$ (Gleichung einer Geraden).

Es sind zwei Gruppen von Ruheversuchen ausgeführt worden. Die Acetylen-Atmung dauerte entweder ½ oder 1 Min. Außerdem wurden noch 3 Einzelversuche mit anderer Acetylen-Atmung gemacht.

(Tabellen und Kurven am Schluß der Arbeit.)

Versuche von 30 Sek. Dauer:

Nr. 1: Die Kurve hat zuerst mehr schräge, nach der dritten Abnahme (nach 46 Sek.) etwas steilere Tendenz; sie hat wenig Ähnlichkeit mit der idealen Kurve, der Geraden, wie auch Kurve 2 und 3. Es ist möglich, daß diese drei Versuche so steil geworden sind, weil vorher in den Sack geatmet worden war, und außerdem die Ruheperiode vor Beginn des Versuches zu kurz gewesen ist.

Nr. 3 ist am steilsten, wahrscheinlich infolge des verhältnismäßig hohen Sauerstoffverbrauches. Bei den Versuchen 4 und 5 wurden unter den genannten Versuchsbedingungen, da nach 60 Sek. noch beträchtliche Mengen Acetylen in der Ausatmungsluft vorhanden waren, die Abnahmen in bedeutend weiteren Abständen gemacht; dies erklärt das Fehlen der Zacke in der Nähe der 40. Sek. Beide Kurven verlaufen fast parallel und sehr regelmäßig. Der Knick zwischen der 30. und der 45. Sek. entsteht wahrscheinlich durch die ungleichmäßige Vermischung des Blutes mit dem Gas. Da die Blutumlaufszeit 1 Min. beträgt, ist nach 30 Sek. dauernder Atmung noch nicht das gesamte Blut gleichmäßig mit Acetylen durchmischt.

Es zeigte sich eine gewisse Gesetzmäßigkeit im Verlauf der Kurven. Die Versuche mit höherem Sauerstoffverbrauch sind steiler als die anderen, bei denen außerdem die 10minutige Ruhepause genauer eingehalten wurde. Die Angleichung an eine Gerade ist aber hier noch nicht so deutlich wie bei den Versuchen mit 1 Min. dauernder Atmung, die wesentlich gleichmäßiger verlaufen. Es finden sich zwar noch immer Abweichungen von

der Geraden, aber sie sind nicht mehr so deutlich wie bei der vorigen Gruppe. Äußere Ursachen mögen auch Einfluß auf den Verlauf der Kurven gehabt haben: Die Versuche wurden immer erst um 3 Uhr nachmittags ausgeführt, nachdem die Versuchsperson bereits den ganzen Vormittag gearbeitet hatte, so daß 10 Min. Ruhe vor Beginn des Versuches vielleicht nicht immer genügten, um ideale Ruhe herbeizuführen. Außerdem wurde trotz Aufmerksamkeit während des Versuches wegen der narkotischen Wirkung des Acetylens nicht die ganze Zeit gleichmäßig geatmet.

1 Minute Atmung:

Nr. 6 hat einen tieferen Anfangspunkt und steileren Verlauf als die anderen Kurven, da trotz der gleichen, zur Einatmung gelangenden Acetylenmenge schon mehr Acetylen von den Geweben absorbiert worden war.

Nr. 7—10 sind unter günstigen Bedingungen durchgeführt worden. Es wurde sorgfältig darauf geachtet, daß die Versuchsperson die vorangehende 10 Min. dauernde Ruhepause einhielt. Außer bei Nr. 7 sind die Abnahmezeiten weiter auseinandergerückt; es wurden bei Nr. 9 auch mehr Abnahmen gemacht als gewöhnlich. Die Ausscheidung des ruhenden Menschen nach 1 Min. dauernder Atmung dauert sehr lange und ist aus dem oben angeführten Grunde wegen der gleichmäßigen Durchmischung des Blutes mit Acetylen sehr gleichmäßig. Hat die Versuchsperson ½ Min. geatmet, so findet sich 0,1% Acetylen in der Alveolarluft noch nach 14 Min., hat sie 1 Min. geatmet, so sind 0,1% Acetylen noch nach 19 Min. vorhanden.

Einzelversuche:

Nr. 11 (25 Sek.) zeigt die bilogarithmische Kurve einen fast geradlinigen Verlauf, wahrscheinlich weil die Abstände zwischen den Abnahmen gering sind und alle vor der kritischen Zeit (45 Sek.) gemacht wurden.

Nr. 12 (1½ Min.). Die Kurve ist bedeutend steiler als die aller anderen Versuche, da entsprechend mehr Acetylen aufgenommen worden ist; die Tendenz ist fast gerade.

Nr. 13 (andere C_2H_2-Konzentration, 1 Min.). Alle Punkte liegen höher als bei den 1-Min.-Versuchen; die Kurve ist im Anfang etwas steiler, nachher den anderen ähnlicher. Hier fehlt der 4. Punkt. Die stärkere Konzentration wirkte so betäubend, daß die Versuchsperson am Schluß, nachdem sie sich zu Beginn sehr bemüht hatte, nicht betäubt zu werden, nicht mehr die Kraft hatte, ausreichend Luft in die Bürette zu atmen.

Fassen wir die Ergebnisse der Ruheversuche zusammen: Je länger die Acetylen-Atmung dauert, um so regelmäßiger werden die Ausscheidungskurven, sie gleichen sich mehr und mehr einander und der Geraden an. Die Anfangskonzentration, d. h. die Acetylenmenge bei der ersten Abnahme ist bei den Versuchen mit 30 Sek. dauernder Atmung größer, der weitere Verlauf der Kurve ist steiler, d. h. die Ausscheidung verläuft schneller als bei den Versuchen mit 1 Min. Atmung. Die Unregelmäßigkeiten in der Kurve bei 30 Sek. dauernder Atmung sind damit zu erklären, daß das

Blut noch nicht gleichmäßig mit Acetylen durchmischt ist. Bekanntlich beträgt die Blutumlaufszeit eines 50 kg wiegenden Menschen etwa 1 Min. Also ist erst nach 1 Min. dauernder C_2H_2-Atmung im ganzen Blut praktisch gleichmäßig viel Acetylen, so daß man bei den Abnahmen entsprechende Konzentrationen erhalten kann. Bei 30 Sek. Atmung ist das Blut nicht gleichmäßig mit Acetylen beladen, daher kommt es bei der Ausscheidung zu unregelmäßigen Acetylenkonzentrationen und man erhält somit Zacken in der Kurve.

Arbeitsversuche:

Es sind, wie schon oben erwähnt, 2 Arten von Versuchen zu unterscheiden: „Aufhören", „Weiterfahren".

Alle Versuche wurden von drei verschiedenen Versuchspersonen ausgeführt, und zwar waren 2 untrainiert, d. h. noch nicht vorher Rad gefahren, die dritte körperlich leidlich trainiert (d. h. als Versuchsperson für Stoffwechselversuche lange geübt). Es zeigte sich bei der Untersuchung der einzelnen Kurven, daß die Ergebnisse bei den untrainierten Versuchspersonen einander sehr ähnlich waren, während diejenigen der trainierten Versuchsperson hiervon sehr abwichen; deshalb wurden die Arbeitsversuche nach Versuchspersonen geordnet. Außerdem wurde zur Kontrolle des Trainierten noch ein Versuch mit einer vierten, ebenfalls trainierten Versuchsperson gemacht, der das entsprechende Resultat ergab. Die einzelnen Versuche sind untereinander nach der Größe des Sauerstoffverbrauches geordnet.

(Tabellen und Kurven am Schluß der Arbeit.)

„Aufhören".

Untrainierte Versuchspersonen:

Nr. 14. Sauerstoffverbrauch ist infolge eines Versehens während des Versuches unbekannt. Die Kurve ist nach der 2. Abnahme (nach 48 Sek.) etwas steiler als zu Beginn, im ganzen ziemlich gerade. Versuch 14 muß mit 19 und 20 zusammen besprochen werden, da die drei Versuche an aufeinanderfolgenden Tagen ausgeführt wurden und die Versuchsperson dadurch am dritten Tage geübter war als am ersten. Nr. 20 ist die steilste der drei Kurven, da der Sauerstoffverbrauch am höchsten und die Versuchsperson vollkommen untrainiert ist. Nr. 14 und 19 sind wesentlich flacher; die Differenz im Sauerstoffverbrauch zwischen 19 und 20 ist nicht so groß, um allein zur Erklärung auszureichen, es ist auch anzunehmen, daß das tägliche Fahren die Versuchsperson übte und deshalb die Kurve flacher wurde.

Nr. 15. Hier fehlt der 2. Punkt. Die Kurve ist gegen Ende des Versuches steiler. Der Anfangspunkt liegt sehr hoch; das liegt wahrscheinlich daran, daß die Versuchsperson nach jahrelanger Pause zum ersten Male Rad fuhr.

Nr. 16. Der Anfangspunkt liegt auffallend tief, im übrigen verläuft die Kurve ähnlich wie 17 und 18. Besonders gegen Ende des Versuches, von

80 bezw. 77 Sek. ab, sind alle drei Versuche ziemlich steil und verlaufen fast parallel. Bei Nr. 17 fehlt infolge eines technischen Versehens der erste Punkt.

Die Kurven zeigen im allgemeinen die gleiche Tendenz, besonders gegen Ende steiler zu werden, d. h. die Ausscheidung ist am Schluß schneller als zu Beginn. Die Ventilation gibt die Größe der Atmung an. Der Verlauf der Kurve wird bedingt durch die Disposition der Versuchsperson (Training) und die Größe des Sauerstoffverbrauches. Die Zahl der Umdrehungen pro Minute wurde in dieser Versuchsreihe nur bei Nr. 18 angegeben. Sie wird während der 2. Min. gezählt, nachdem ein gleichmäßiger Stand der Umdrehungen erreicht ist; sie ist natürlich in erster Linie von der Arbeitsleistung abhängig, die sich in unserer Versuchsanordnung aus der Umdrehungszahl am Fahrradergometer ableiten läßt.

Trainierte Versuchspersonen.

Die trainierten Versuchspersonen zeigen einen bedeutend höheren Sauerstoffverbrauch und eine höhere Ventilation; die Ausscheidung aber ist entsprechend der höheren Arbeitsleistung langsamer, die Kurven sind erheblich flacher als bei der vorigen Gruppe.

Nr. 21 hat hohen Sauerstoffverbrauch und hohe Ventilation, dennoch langsame Ausscheidungen. Der Verlauf der Kurve ist ziemlich gerade. Interessant ist Versuch 22, der nach langer Pause gemacht wurde; die Versuchsperson war außer Training. Der Anfangspunkt ist hier bedeutend höher als bei den beiden anderen Versuchen, die Ausscheidung ist schneller, der ganze Versuch ähnelt etwas mehr den Versuchen der untrainierten Versuchspersonen. Versuch 23: Sehr hoher Sauerstoffverbrauch; trotzdem ist die Ausscheidung langsamer als bei Versuch 22, da die Versuchsperson wieder mehr im Training ist.

Die Acetylen-Ausscheidung dauert beim trainierten Menschen bedeutend länger als beim untrainierten. Daß Training wirklich von Einfluß ist, glaube ich, in der Besprechung der Einzelversuche nachgewiesen zu haben. Es liegt wahrscheinlich daran, daß die Atmung gleichmäßiger ist. Außerdem wurde die Beobachtung gemacht, daß die untrainierten Versuchspersonen bedeutend mehr Kraft aufwenden mußten als die trainierten, wie dies auch aus den Arbeitsversuchen von Groscurth und Bansi ersichtlich war. Diese Mehranstrengung beeinflußt natürlich auch die Atmung; die schnellere Ausscheidung hängt wahrscheinlich zum Teil davon ab. Nach Bansi und Groscurth wird durch Training eine Steigerung der allgemeinen Leistungsfähigkeit erzeugt; das Schlagvolumen wird größer, das Minutenvolumen wird geringer. Schließlich wirkt auch noch die Größe des Sauerstoffverbrauches auf die Ausscheidung.

„Weiterfahren".

Untrainierte Versuchspersonen.

Da es nicht nur von Interesse war, den Ausscheidungsverlauf nach einer bei einer bestimmten Höhe des Arbeitsumsatzes vorgenommenen Minuten-Volumen-Bestimmung zu untersuchen, sondern auch die Frage gelöst wer-

den mußte, wie schnell bei konstanter Arbeit eine abermalige Acetylen-Atmung vorgenommen werden konnte, wurden Versuche unternommen, bei denen nach der C_2H_2-Atmung die Arbeit fortgesetzt wurde.

Nr. 24: Dies ist der erste „Weiterfahren"-Versuch einer Versuchsperson, die bis auf wenige „Aufhören"-Versuche kein weiteres Training gehabt hat. Die fast gerade Kurve ist hier steiler als bei allen folgenden Versuchen. Die Versuchsperson stellte sich von Anfang an darauf ein, daß sie 6 Min. arbeiten mußte und hielt sorgfältig mit ihren Kräften Haus; so ist wohl der auffallend niedrige Sauerstoffverbrauch und die niedrige Ventilation zu erklären. Die Ausscheidung ist, wie schon erwähnt, besonders schnell. 123 Sekunden nach Aufhören der Acetylen-Atmung ist jede etwa noch vorhandene Acetylen-Menge unter die Meßbarkeitsgrenze gesunken.

Nr. 25 zeigt einen sehr niedrigen Anfangspunkt und ziemlich schrägen Verlauf; sie ähnelt in ihrer ganzen Tendenz am meisten von allen 5 Kurven denen der trainierten Versuchspersonen. Interessant ist der Vergleich mit Versuch 28, der am Vortage als erster Versuch mit dauernder Arbeit gemacht wurde. Bei 28 ist der Anfangspunkt bedeutend höher, die ganze Kurve ist besonders gegen Schluß viel steiler als Nr. 25. Die untrainierte Versuchsperson ist bei Versuch 25 schon etwas geübter. Die Umdrehungszahl ist bei beiden Versuchen gleich; die Ventilation und der Sauerstoffverbrauch sind bei Nr. 28 größer als bei 25, was sich natürlich auch in der Acetylen-Ausscheidung auswirkt. Die Versuche 24, 26 und 27 wurden mit einer anderen Versuchsperson ausgeführt. Bei allen drei Versuchen konnte, wie schon bei Nr. 24 erwähnt, in der letzten Abnahme kein meßbarer Acetylen-Rest mehr gefunden werden. Die Kurven sind alle ziemlich steil. Nr. 26 hat den tiefsten Anfangspunkt. Nr. 27 und 26 wurden an aufeinanderfolgenden Tagen gemacht. Der tiefere Anfangspunkt ist durch die bessere Übung zu erklären.

Trainierte Versuchspersonen.

Die Kurven der trainierten Versuchspersonen zeigen schon auf den ersten Blick einen viel flacheren Verlauf. Nr. 29: Die Ausscheidung ist bemerkenswert langsam, der Sauerstoffverbrauch und die Ventilation sind auffallend klein. Die Versuchsperson war damals besonders gut im Training.

Nr. 30 hat die steilste Kurve dieser Gruppe; leider fehlt hier der Anfangspunkt, so daß die Höhe desselben nicht beurteilt werden kann. Die Versuchsperson, die sonst ständig im Training war, hatte mehrere Wochen hindurch nicht trainieren können und ist an diesem Tage zum ersten Male wieder gefahren.

Nr. 31 ist flacher; an ihr fällt hauptsächlich eine Zacke nach unten auf bei der 3. Abnahme (98 Sek.), die sich nur durch verschiedene Atmung oder durch ungleiche Durchmischung des Blutes erklären läßt.

Nr. 32 ist nach einer Pause von 6 Tagen gemacht worden, außerdem war die Versuchsperson schlecht disponiert. Der Anfangspunkt ist daher sehr hoch; die Tendenz der Kurve ist etwas steiler als bei Nr. 31.

Nr. 33 wurde als Kontrollversuch mit einer besonders gut trainierten Versuchsperson gemacht. Der Anfangspunkt ist ziemlich tief, die Tendenz

der Kurve ist der der anderen Kurven ähnlich; besonders frappant ist die Verwandtschaft mit Kurve Nr. 31, da sie auch die gleiche Zacke bei 98 Sek. zeigt. Die Zahl der Umdrehungen pro Minute betrug diesmal 55.

Der Einfluß des Trainings auf die Acetylen-Ausscheidung ist nicht zu verkennen; dies liegt wahrscheinlich an der besseren Atemtechnik, an der Verringerung der Anstrengung und der größeren Gleichmäßigkeit der Bewegung. Die Ausscheidungsgeschwindigkeit ist natürlich bei dauernder Arbeit bedeutend größer als beim Aufhören. Dies fällt am meisten bei den untrainierten Versuchspersonen auf, die an und für sich ein besonders hohes Minuten-Volumen bei einem bestimmten Sauerstoffverbrauch zu haben pflegen. Bei ihnen wird größtenteils die gesamte Gasmenge bis auf einen nicht mehr meßbaren Rest nach 2 Minuten ausgeschieden. Die Kurven der Ruheversuche jedoch sind auffallend flach, die Ausscheidung dauert sehr lange. Die Größe des Sauerstoffverbrauches bedingt die Geschwindigkeit der Acetylen-Ausscheidung, aber nicht in dem Maße, wie vorher erwartet; denn infolge des größeren Sauerstoffverbrauches wird auch mehr Acetylen absorbiert als in Ruhe. Daher steigt die Ausscheidungsgeschwindigkeit nicht proportional zum Sauerstoffverbrauch. Für die Minuten-Volumen-Bestimmungen und die Stoffwechselversuche ist die am Anfang aufgeworfene Frage so zu beantworten, daß bei Untersuchungen am Ruhenden mit 30 Sek. oder 1 Min. dauernder Acetylen-Atmung nach 15 bezw. 20 Min. praktisch kaum noch Acetylen in der Atmungsluft vorhanden ist. Da bei diesen Versuchen meist nur 10—20 Sek. geatmet wird, kann also schon nach 10 Min. die nächste Atmung erfolgen, ohne daß Fehler entstehen. Die Untersuchung am arbeitenden Menschen wird fast nur mit dauernder Arbeit gemacht. Bei diesen Versuchen kann ein Untrainierter nach 3 Min., ein Trainierter nach 4 Min. die nächste Acetylen-Atmung vornehmen.

Zusammenfassung:

Es wurden Versuche gemacht, um die Dauer der Acetylen-Ausscheidung aus der Atemluft beim ruhenden und beim arbeitenden Menschen zu ermitteln. Es ergab sich, daß es beim Ruhenden 15 Min. währt, bis nach einer 30 Sek. dauernden Acetylen-Atmung keine nennenswerte Menge des Gases mehr vorhanden ist. Die Versuche am Arbeitenden ergaben einen wesentlichen Unterschied zwischen Trainierten und Untrainierten, und zwar derart, daß die Ausscheidung beim Trainierten länger dauert als beim Untrainierten. Die Geschwindigkeit der Ausscheidung ist auf die Kreislaufgeschwindigkeit zurückzuführen, da keine absolut sichere Relation zwischen Ausscheidung und Sauerstoffverbrauch besteht. Man kann sagen, daß bei einem Sauerstoffverbrauch von 1000 bis 1600 ccm nach 4 Minuten die nächste Analyse vorgenommen werden kann, nach 3 Min. praktisch sehr wenig Acetylen noch im Blute ist. Schließlich wird auch bei höherem Sauerstoffverbrauch pro Atemzug mehr Gas absorbiert, deshalb steigt die Ausscheidungsgeschwindigkeit nicht proportional zur Größe des Sauerstoffverbrauches.

Literatur:

1. H. W. Bansi und G. Großcurth: Die Bestimmung des circulatorischen Minutenvolumens mittels Acetylen (nach Grollman) in der Ruhe und bei Arbeitsversuchen.
2. H. W. Bansi und G. Großcurth: Der Kreislauf bei schwerer körperlicher Arbeit und seine Beeinflussung durch Kreislaufmittel. Archiv f. exp. Path. u. Pharm., Bd. 169.
3. Schoen: Zur Kenntnis der Acetylen-Wirkung. Ztschr. f. physiolog. Chemie, Bd. 127, 1922.
4. Schoen und Sliwka: Zur Kenntnis der Acetylen-Wirkung. Ztschr. f. physiolog. Chemie 1923, Bd. 131.
5. Schoen: Das Verhalten der Blutgase bei der Betäubung des Menschen mit Acetylen. Münchener med. Wochenschrift 1924.
6. Wielandt: Über den Wirkungsmechanismus betäubender Gase des Stickoxyduls und des Acetylens. Archiv f. exp. Path. u. Pharm., Bd. 92, 1922.
7. Gaus & Wielandt: Ein neues Betäubungsverfahren. Klin. Wo.-Schrift 1923.
8. L. Lewin, A. Miethe und E. Stenger: Das Verhalten von Acetylen zu Blut. Archiv f. d. ges. Physiologie, Bd. 129, 1909.
9. Rosemann: Über die Giftigkeit des Acetylen. Archiv f. exp. Path. u. Pharm. 1895, Bd. 36.
10. Arthur Grollman: The determination of the cardiac output of man by the use of acetylene. American journal of physiologie. Bd. 88.
11. Arthur Grollmann: The solubility of gases in blood and blood fluids. Journal of biological chemistry, 1929, Bd. 82.
12. Baumann und Grollman: Über die theoretischen und praktischen Grundlagen und die klinische Zuverlässigkeit der Acetylen-Methode zur Bestimmung des Minutenvolumens. Ztschr. f. klin. Med., Bd. 115, 1931.
13. Lindhardt: Über das Minutenvolumen des Herzens bei Ruhe und bei Muskelarbeit. Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie, 1915, Bd. 161.
14. Fuß und Derra: Narcylennarkose, Kohlehydrat-Stoffwechsel, Säurebasenhaushalt und Blutgasaustausch. Klin. Wo.-Schr., 11. Jahrg., Nr. 13, 1932.
15. Christensen: Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. III. Mitteilung: Gasanalytische Methoden zur Bestimmung des Herzvolumens in Ruhe und während körperlicher Arbeit. Arbeitsphysiologie, Bd. 4.

Ruheversuche!

30 Sekunden.

Sch. 0,7 $C_2 H_2$
0,3 O_2
2,0 Außenluft.
23,3 % $C_2 H_2$

1) **23. IX. 1931. G.**

O_2 : 194,7 ; V. 8,57

14 " 2,05 %
32 " 1,05 %
46 " 0,9 %
61 " 0,35 %

2) **10. IX. 31.**

O_2 : 227,4 ; V. 8,16

13 " 3,42 %
17 " 1,52 %
44 " 0,8 %
57 " 0,5 %

3) **18. IX. 31.**

O_2 : 270,5 ; V. 6,16

13 " 2,65 %
28 " 1,0 %
34 " 0,7 %
58 " 0,15 %

4) **23. X. 31.**

16,8 " 1,77 %
61 4 " 0,5 %
5 Min. 31,5 " 0,2 %
8 " 31,2 " 0,15 %
11 " 32 " 0,12 %

5) **26. X. 31.**

16.7 " 1,25 %
61,4 " 0,5 %
3 Min. 32,4 " 0,25 %
7 " 32 " 0,2 %
14 " 31,4 " 0,1 %

1 Minute

6) **9. X. 31.**

15 " 1,85 %
29 " 0,95 %
44 " 0,8 %
58 " 0,6 %

7) **10. X. 31.**

16,5 " 1,32 %
33,0 " 1,03 %
46,8 " 0,75 %
62,3 " 0,7 %

8) **19. X. 31.**

16,5 " 1.32 %
46,8 " 0,7 %
2 Min. 2,0 " 0,45 %
3 " 1,0 " 0,3 %

9) **20. X. 31.**

18,3 " 1,10 %
49,1 " 0,75 %
2 Min. 3,3 " 0,6 %
4 „ 3,2 " 0,35 %
6 „ 3,3 " 0,3 %
8 „ 3,1 " 0,25 %

10) **22. X. 31.**

16,5 " 1,5 %
5 Min. 1,6 " 0,4 %
10 " 2,0 " 0,2 %
14 " 55,0 " 0,1 %

1,0 $C_2 H_2$
0,4 O_2
1,6 Außenluft.
33 % C_2 H_2

Einzelversuche!

11) **9. IX. 31. 25 Sek.**

3,0 " 4,0 %
14,0 " 1,8 %
20,0 " 1.5 %
32,0 " 0,85 %

12) **12. X. 31. 1½ Min.**

16 " 1,75 %
33 " 0.75 %
48 " 0,55 %
63 " 0,40 %

13) **15. X. 31. 1 Min.**

17,2 " 2,17 %
47,8 " 1,0 %
2 Min. 12,0 " 0,6 %
3 " 2,0 " ? %

Aufhören!

0,7 C_2H_2
1,0 O_2
1,3 Außenluft.
23,3 % C_2H_2

A) Untrainierte Versuchspersonen Sch. und R.

14) **16. XII. 31.** Sch.
O_2 : ?

11 " 0,72 %
48 " 0,45 %
79 " 0,25 %
121 " 0,15 %

15) **9. XII. 31.** Sch.
O_2 : 879 ; V. 19,3

14 " 0,45 %
105 " 0,2 %
135 " 0,12 %

16) **27. I. 32.** R.
O_2 : 1177 ; V. 25.2

13 " 1,05 %
50 " 0,4 %
77 " 0,3 %
122 " 0,12 %

17) **22. I. 32.** R.
O_2 : 1179 ; V. 25,5

50 " 0,35 %
80 " 0,2 %
124 " 0,1 %

18) **29. I. 32.** R. (37 Umdr.)
O_2 : 1287 ; V. 27,6

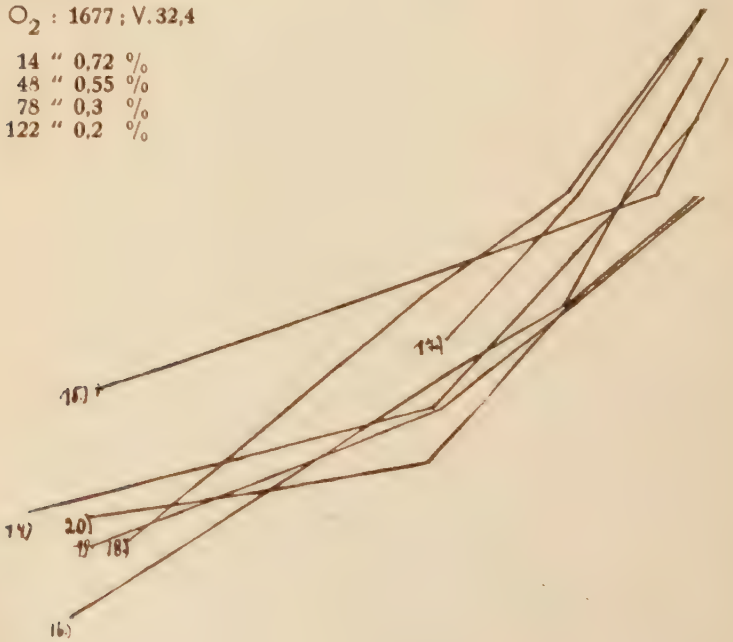
16 " 0,78 %
46 " 0,3 %
77 " 0,2 %
121 " 0,1 %

19) **17. XII. 31.** Sch.
O_2 : 1590 ; V. 32,3

14 " 0,8 %
49 " 0,45 %
80,5 " 0,3 %
125 " 0,2 %

20) **15. XII. 31.** Sch.
O_2 : 1677 ; V. 32,4

14 " 0,72 %
48 " 0,55 %
78 " 0,3 %
122 " 0,2 %



B) Trainiert. O. A. B.

21) **11. XII. 31.**

O_2 : 1400 ; V. 25,4

15 " 1,0 %
45 " 0,52 %
85 " 0,47 %
130 " 0,4 %

22) **5. IV. 32.** (58 Umdr.)

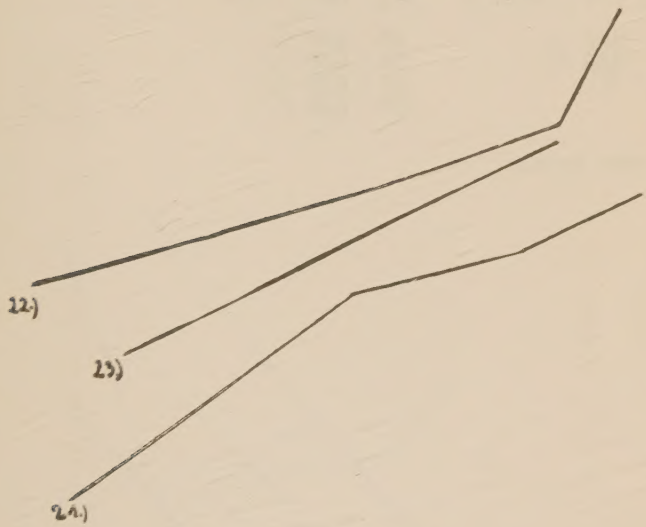
O_2 : 1543 ; V. 27,5

14 " 0,45 %
55 " 0,35 %
101 " 0,40 %
131 " 0,2 %

23) **6. IV. 32.** (58 Umdr.)

O_2 : 1780 ; V. 30,1 (3 Ltr.)

19 " 0,6 %
54 " 0,4 %
100 " 0,32 %



Weiterfahren!

A) Untrainierte Versuchspersonen **Sch.** und **R.**

24) **19. XII. 31.** Sch.
O_2 : 959 ; V. 19,5

15 " 0,52 %
49 " 0,1 %
79 " 0,05 %
123 " *)

25) **3. II. 32.** R. (37 Umdr.)
O_2 : 1123 ; V. 23,9

18 " 0,8 %
49 " 0,35 %
81 " 0,20 %
129 " 0,10 %

26) **21. I. 32.** Sch.
O_2 : 1146 ; V. 21,6

14 " 0,75 %
43 " 0,30 %
75 " 0,15 %
118 " *)

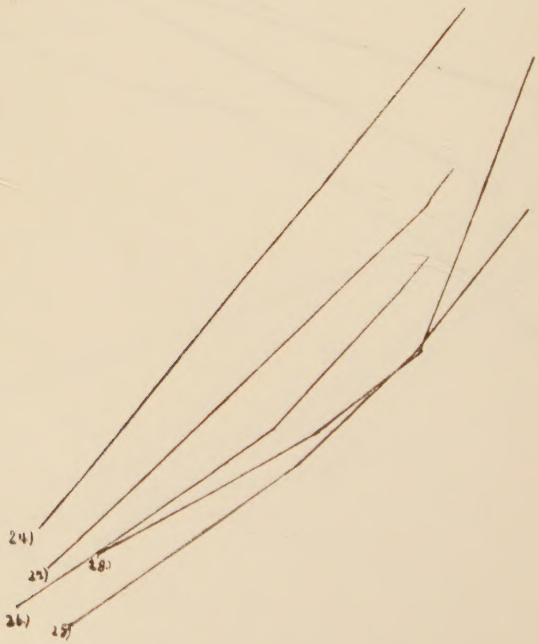
27) **20. I. 32.** Sch.
O_2 : 1232 ; V. 22,4

16 " 0,62 %
82 " 0,10 %
124 " *)

28) **2. II. 32.** R. (37 Umdr.)
O_2 : 1427 ; V. 34,2

20 " 0,57 %
53 " 0,30 %
82 " 0,20 %
126 " 0,05 %

*) nicht mehr meßbar



B) Trainiert **O. A. B.**

29) 29. X. 31.

O_2 : 1010 ; V. 18,4

16 " 0,7 %
47 " 0,35 %
270 " 0,15 %
395 " 0,1 %

30) 1. XII. 31.

O_2 : 1408 ; V. 28,3

40 " 0,37 %
83 " 0,20 %
113 " 0,10 %

31) 3. XII. 31.

O_2 : 1641 ; V. 31,5

14 " 0,74 %
53 " 0,32 %
98 " 0,28 %
128 " 0,18 %

32) 9. XII 31.

O_2 : 1815 ; V. 30,5

14 " 0,4 %
54 " 0,3 %
100 " 0,2 %
129 " 0,15 %

33) Kontrollversuch Dr. G. 5. IV. 32.

O_2 : 1230 ; V. 27,1 (55 Umdr.)

23 " 0,70 %
54 " 0,35 %
99 " 0,30 %
130 " 0,20 %

Zum Schluß möchte ich noch Herrn Prof. Dr. Bansi für seine freundlichen Ratschläge und seine Teilnahme an den Versuchen danken.

Lebenslauf

Ich, Rita Scherk, geb. am 24. Juni 1908 in Berlin, besuchte von Ostern 1914 bis Ostern 1927 das Lyzeum und Gymnasium der staatl. Augusta-Schule Berlin, wo ich Ostern 1927 die Reifeprüfung ablegte. Seitdem studierte ich Medizin, und zwar das erste und zweite Semester in Freiburg i. Br., das dritte bis sechste in Berlin, wo ich im Juli 1929 das Physikum bestand. Das siebente Semester studierte ich in Zürich, und das achte, neunte, zehnte und elfte Semester in Berlin, wo ich am 10. Februar 1933 das Staatsexamen beendete.